Reflexion langwelliger Wärmestrahlen an rauhen Flächen und Gittern.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der philosophischen Fakultät der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin.

ACAD.
LUGD. BAT.
BIBL.

Von

Theodor J. Meyer
aus Berlin.

Tag der Promotion: 14. Oktober 1913.

Braunschweig
Druck von Friedr. Vieweg & Sohn
1913

408

Referenten:

Geh. Reg.-Rat Professor Dr. H. Rubens.

Geh. Reg.-Rat Professor Dr. M. Planck.

Meinen Eltern.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547017_0043

Das Phänomen der diffusen Reflexion des Lichtes an matten Oberflächen gehört zu den verbreitetsten optischen Erscheinungen der Natur. Unser Wahrnehmen der Gegenstände der Außenwelt beruht, soweit die Gegenstände nicht selbstleuchtend sind, auf ihrer diffusen Reflexion, während regelmäßig-reflektierende Oberflächen von Gegenständen, d. h. solche, die die auffallenden Strahlen nach dem geometrischen Reflexionsgesetz reflektieren, selbst nicht sichtbar sind und nur ein Bild der Lichtquelle entwerfen. Wir haben uns daran gewöhnt, diese letzteren Oberflächen „glatt", die Oberflächen, welche diffuse Reflexion aufweisen, „rauh" zu nennen. Streng richtig ist aber diese Bezeichnung keineswegs, denn erstens werden die besten Spiegel noch Unebenheiten besitzen, wenn sie auch dem Auge kaum wahrnehmbar sind, und zweitens bezieht sich diese Definition nur auf das sichtbare Strahlengebiet, nicht aber auf das ultrarote und ultraviolette. Hier versagt die Beurteilung der Rauheit und Glätte mit dem Auge: für Röntgenstrahlen ist z. B. der beste künstliche Spiegel rauh. Nur natürliche Kristallflächen sind glatt, andererseits braucht eine Fläche, die im sichtbaren Gebiete als „rauh" beobachtet worden ist, für lange Wellen diese Eigenschaft nicht mehr zu besitzen; hier gilt vielmehr, was Lord Rayleigh[1]) in seiner „Polish" betitelten Arbeit bemerkte: „die Feinheit, die notwendig ist, damit eine Oberfläche regelmäßig und ohne Diffusion nach allen Seiten reflektiert, hängt von der Wellenlänge des Lichtes und dem Einfallswinkel ab". Auf Veranlassung von Herrn Geh. Rat Rubens stellte ich mir die Aufgabe, die Grenze der regelmäßigen und diffusen Reflexion für verschiedene Wellenlängen aufzusuchen.

Obwohl die diffuse Reflexion ein schon früh behandeltes Thema war, ist es bis auf den heutigen Tag nicht gelungen, das

[1]) Nature 1901, p. 385.

komplizierte Phänomen der diffusen Reflexion theoretisch vollkommen aufzuklären. Die diffuse Reflexion gehört, ähnlich wie die Reibung fester Körper, zu den Vorgängen, die zu mannigfacher Natur zu sein scheinen, als daß sie sich in einheitlicher Weise erklären ließen. Der erste, der ein Gesetz über diffuse Reflexion — das nach ihm benannte Kosinusgesetz — aufstellte, war Lambert. Er selbst ging dabei von Beobachtungen aus, die über die Helligkeitsverteilung auf der Sonnenscheibe angestellt worden waren. Der Gesichtspunkt, unter dem in der gleichen und folgenden Zeit die diffuse Reflexion betrachtet wurde, war die Prüfung dieses Gesetzes, ebenfalls an Hand der Astronomie. So befaßten sich in der gleichen Zeit Euler, La Place und Bouguer mit Emissionsgesetzen und deren Folgerungen. Im Zusammenhang damit, ob man das Lambertsche Gesetz in gleicher Weise auf selbstleuchtende und diffus-reflektierende Flächen anwenden könne, stellte Zöllner eine Theorie über den Vorgang der diffusen Reflexion auf und wies darauf hin, daß an der diffusen Reflexion nicht nur die Oberflächen, sondern auch räumliche Schichten beteiligt seien. Ein nach seiner Ansicht „allgemeineres“ Emissionsgesetz als das Lambertsche stellte Lommel auf, und schließlich übertrug Herr Seeliger dieses Lommelsche Gesetz auch auf die diffuse Reflexion. Prüften diese und andere Autoren[1]) das Kosinusgesetz auf seine Richtigkeit, so begnügten sie sich alle, ihre „rauhe“ Fläche mit der kurzen Bezeichnung zu kennzeichnen, wie mattes Silber, pulverisiertes Silber, gegossener Gips, Briefpapier, Schwefelblume, Marmor, Karton, Porzellan, Sandstein in fünf Varietäten, Kalkstein, Schiefer, Alabaster, getrockneter Lehm, roter gebrannter Ziegelstein, Milchglas, feine Pulver, die durch Pressen zu ebenen Platten geformt waren, englisch Rot, Ultramarin, Magnesia, Gipspulver, das in Staubform aus Luft auf eine Platte fiel usw. Es ist daher nicht erstaunlich, wie Herr Jentsch in seiner Habilitationsschrift: „Studien über Emission und diffuse Reflexion“ bemerkt, „daß sich im allgemeinen die widersprechendsten Resultate“ ergaben. Eben derselbe sagt: „Merkwürdigerweise

[1]) F. de la Provostaye und P. Dessains, Pogg. Ann. **74**, 147, 1848; Knut Ångström, Wied. Ann. **26**, 253—287, 1885; A. Kononowitsch, Fortschr. d. Phys. **37**, 481, 1881; J. B. Messerschmitt, Wied. Ann. **34**, 867—896, 1888; Chr. Wiener, Wied. Ann. **47**, 638—658, 1892; Henry Wright, Ann. d. Phys. **1**, 17—41, 1900; H. Lehmann, Verh. d. Deutsch. Phys. Ges. **11**, 123—136, 1909.

waren bis in die jüngste Zeit die Anforderungen an reine Versuchsbedingungen ziemlich gering; man untersuchte alle möglichen Stoffe, die so unbestimmt wie nur möglich sind, so daß man in den meisten Fällen gar nicht imstande ist, Messungen anderer Autoren zu wiederholen und nachzuprüfen.“ Der Grund, weswegen eine genauere Bezeichnung der rauhen Flächen fehlt, liegt in den großen Schwierigkeiten, die Rauheit der Platten quantitativ zu messen. Auch in der vorliegenden Arbeit ist es nicht gelungen, genau definierte rauhe Platten herzustellen; die Versuche wurden deshalb mit Ritzgittern und Drahtgittern fortgesetzt, bei welchen eine Definition der Oberflächenbeschaffenheit viel leichter ist. Wenn auch die Verhältnisse durch die geordnete Struktur der Gitter und die dadurch verursachten Beugungserscheinungen etwas andere werden, so war doch auch hier ein ähnlicher Zusammenhang zwischen der Wellenlänge der auffallenden Strahlung und den Lineardimensionen der Gitterfurchen zu erwarten, wie er bei rauhen Platten vorhanden ist. Mit diesen Platten konnten quantitative Messungen über den oben erwähnten Satz von Lord Rayleigh angestellt werden, d. h. es wurde das Reflexionsvermögen verschieden rauher Platten für verschiedene Wellenlängen und verschiedene Einfallswinkel für verschieden polarisierte Strahlung untersucht.

I. Versuche mit „geschmirgelten“ und „geblasenen“ Platten.

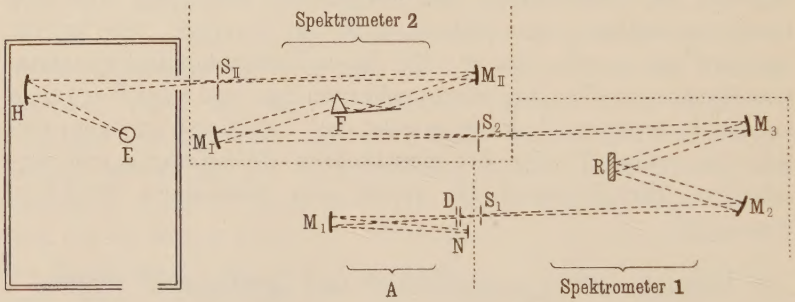
Diese Versuche wurden zunächst für das kurzwelligere ultrarote Spektralgebiet, in welchem der Gebrauch des Spektrometers möglich ist, angestellt.

Versuchsanordnung im Wellenlängengebiet 0,4 μ bis 9 μ.

Die Strahlungsquelle war ein Nernstbrenner N, der, um konstante Strahlung zu geben, von einer Akkumulatorenbatterie gespeist wurde. Der Strom wurde dauernd durch ein Amperemeter kontrolliert. Um eine scharfe, abgegrenzte Lichtquelle zu erhalten, was für die Justierung wesentlich war, wurde aus der Fassung des Nernstbrenners die Vorwärmungseinrichtung herausgebrochen, so daß nur der schmale Nernstfaden übrig blieb, der jedesmal beim Anzünden auf künstliche Weise vorgewärmt wurde. Dieser Nernstbrenner N und ein Hohlspiegel M_1 befanden sich auf einem Messingträger, der vorn am ersten Arm eines Spiegel-

spektrometers befestigt wurde. Der Hohlspiegel M_1 bildete den Faden der Nernstlampe auf dem ersten Spalt S_1 des Spektrometers ab. Dieses Spektrometer diente dazu, die zu untersuchenden Platten aufzunehmen. Auf seinem Tisch befand sich an Stelle des sonst verwandten Prismas ein Rahmen R, hinter dessen kreisförmiger Öffnung die reflektierenden Platten durch den Druck einer Feder befestigt werden konnten. Vom Spalt S_1 fielen die Strahlen auf den Spektrometerspiegel M_2. Die von diesem ausgehenden parallelen Strahlen gelangten auf die Platte R, wurden von dieser reflektiert und dann durch den zweiten Spektrometerspiegel M_3 auf dem Spalt S_2 vereint. Zwecks spektraler Zerlegung nahmen die Strahlen nun den gewöhnlichen Gang durch ein zweites großes Spiegelspektrometer mit einem Flußspatprisma F.

Fig. 1.



Der erste Spalt dieses Spektrometers, welches als Monochromator diente, wurde entfernt, da der zweite Spalt des ersten Spektrometers mit dem ersten Spalt des Monochromators identisch war. Während der Untersuchung standen die beiden Arme des Monochromators, die die Spiegel M_I und M_{II} tragen, fest, und die Einstellung der verschiedenen Wellenlängen geschah nach der Methode von Wadsworth[1]) durch Drehen des Prismentisches mit Hilfe einer Mikrometerschraube, deren Trommelteilung direkt in Wellenlängen geeicht wurde. Die Brechungsindices wurden den Beobachtungen von Herrn Paschen[2]) entnommen. Die Justierung geschah auf bekannte Weise mit einem planparallelen Doppelspiegel. Nach dem Durchgang durch den Monochromator fielen

[1]) Phil. Mag. 38, 337—351, 1894.
[2]) Paschen, Ann. d. Phys. 4, 299, 1901.

die Strahlen auf den Hohlspiegel H und wurden durch ihn auf das Thermoelement eines Mikroradiometers E konzentriert, das zur Messung der Strahlung diente. Das Instrument war zum Schutze gegen äußere Druckschwankungen mit einer luftdicht schließenden Glocke umgeben. Ausführlich ist das Instrument von Herrn H. Schmidt[1]) und Herrn H. Hollnagel[2]) beschrieben worden. Je nach den Wellenlängen der Strahlen, mit denen gearbeitet wurde, mußte das Fenster vor dem Konus, durch welchen die Strahlen an das Instrument gelangen, durch Platten aus verschiedenem Material verschlossen werden. In dem Gebiet bis $9\,\mu$ zunächst, in dem das Spektrometer Verwendung fand, wurde ein Steinsalzfenster gewählt, das bekanntlich diese Strahlen vollkommen durchläßt. Vor dem ersten Spalt S_1 des Spektrometers befand sich ein Metallklappschirm D, der vom Platze des Beobachters aus mit Hilfe einer Schnur betätigt werden konnte. Das Mikroradiometer und der Hohlspiegel H waren zum Schutz gegen fremde Strahlung in einem Pappkasten eingebaut. Zur Prüfung, ob die verschiedenen Platten stets dieselbe Stellung zu den Spektrometerspiegeln hatten, wurde in ihrer Mitte nach dem Einsetzen in den Rahmen ein kleiner planparalleler Spiegel mit einem Tropfen Wasser befestigt. In ihm wurde durch ein feststehendes Fernrohr das Bild einer festen Skala beobachtet. Verschoben sich die Zahlen der Skala bei den verschiedenen Platten gegen das Fadenkreuz, so war das ein Beweis dafür, daß die Platten nicht genau in gleicher Weise orientiert waren. Wurden solche Veränderungen beobachtet, so wurden die betreffenden Winkelabweichungen bei den Messungen in Betracht gezogen.

Messungen.

„Rauhe“ Flächen wurden zuerst dadurch hergestellt, daß Nickelplatten auf einer Glasplatte als Unterlage mit Schmirgelkörnern verrieben wurden. Man erhielt dann aber schon äußerlich ganz unbrauchbare Platten, da sich der Schmirgel in den

---

[1]) Hans Schmidt, Inauguraldissertation, Prüfung der Strahlungsgesetze der Bunsenflamme 1909.

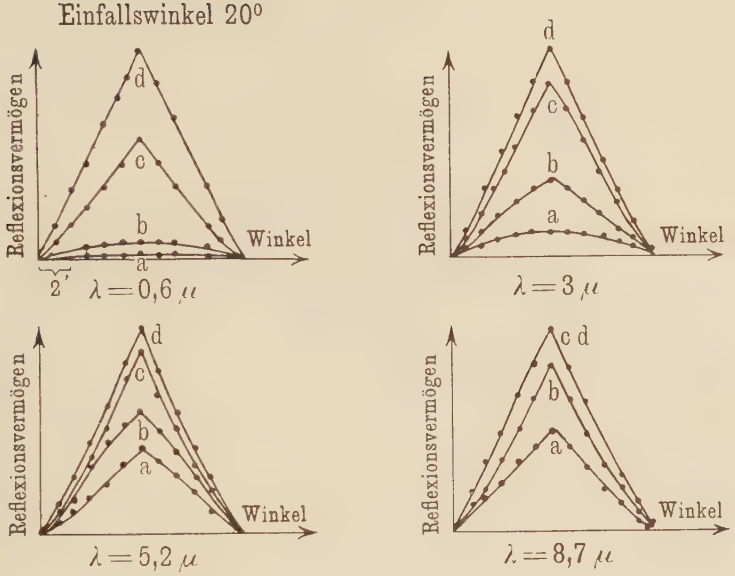
[2]) a) Herbert Hollnagel, Inauguraldissertation, Über die Abhängigkeit der Wellenlänge der Reststrahlen von den Versuchsbedingungen 1910; b) Rubens und Hollnagel, Phil. Mag. (6) **19**, 764, 1910.

eingekratzten Ritzen festsetzte, wodurch eine schmutzig rauhe Oberfläche entstand. Sand statt des Schmirgels angewandt, brachte keinen Vorteil. Auch wenn das Gröbste mit Alkohol und Xylol herausgebracht werden konnte, blieben die Platten doch unbrauchbar. Der nächste Weg, der eingeschlagen wurde, war der, daß die Platten mit Schmirgelpapier verschiedener Feinheit verschmirgelt wurden. Es war aber von vornherein klar, daß es sehr schwierig sein würde, die Größe der Unebenheiten auf der Platte zu bestimmen. Man könnte zunächst daran denken, die Größe der Körner, aus denen das Schmirgelpapier hergestellt ist, zu messen und hieraus die Dimensionen der Furchen zu beurteilen. Ich habe mich bemüht, von den betreffenden Fabriken einige Probekörner, die zur Herstellung der verschiedenen Sorten dienten, zu erhalten. Aber sie waren ganz verschieden, da das Schmirgelpapier nie aus bestimmten Korngrößen, sondern aus einem ganzen Gebiet verschieden großer Körner hergestellt ist. Im übrigen hat aber sowohl beim Schmirgeln mit Körnern, wie beim Schmirgeln mit Papier die Bestimmung der Korngröße nicht viel Zweck, da die erzeugten Kratzer sicher nicht den Durchmesser der Körner haben. Es streichen vielmehr die Körner über die Platte, aber sie dringen nur bis zu einem geringen Bruchteil ihrer Tiefe hinein. Da sich indessen mit Schmirgelpapier im Gegensatz zu Schmirgelkörnern wenigstens metallisch reine, wenn auch in bezug auf ihre Rauheit nicht quantitativ definitionsfähige Platten herstellen ließen, wurden diese zunächst verwendet. Bei den Versuchen wurden die Platten so eingestellt, daß die vom Mikroradiometer angezeigte Intensität ein Maximum war, und dann von Minute zu Minute aus ihrer Stellung verdreht. Mit dem Winkel, um den die Platten gedreht wurden, änderte sich die vom Mikroradiometer angezeigte Intensität. Die Werte der Intensitäten als Funktion der Drehungswinkel dargestellt, ergaben nebenstehende Kurven.

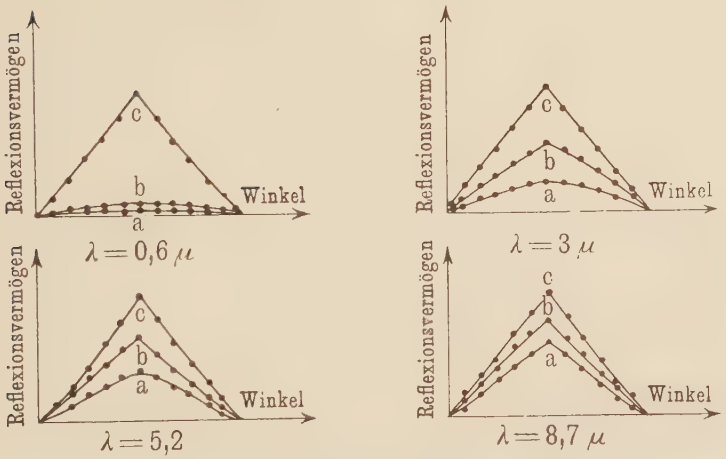
Es wurden die Kurven zweier rauher Nickelplatten verglichen mit einem blanken Nickel- und Silberspiegel bei vier verschiedenen Wellenlängen. Die Arme des Spektrometers wurden so justiert, daß dieselben Beobachtungsreihen zunächst bei einem mittleren Einfallswinkel von 20^0 auf die Platten und dann bei einem mittleren Einfallswinkel von 50^0 aufgenommen wurden. Da der Abfall der gemessenen Intensität mit dem Drehwinkel, der sich bei rauhen

Fig. 2.

Einfallswinkel 20°



Einfallswinkel 50°



a = Kurve der rauhesten Platte
b = „ „ mittelrauhen Platte } Nickel
c = „ „ glatten Platte
d = „ des Silberspiegels

Platten zeigte, ebenso bei einem glatten Silberspiegel gefunden wurde, so folgt daraus, daß dieser Abfall der Kurven nicht auf diffuse Reflexion, sondern darauf zurückzuführen war, daß beim Drehen des Spiegels noch ein Bruchteil geometrisch reflektierter Energie durch den Spektrometerspalt auf das Radiomikrometer fiel. Die diffuse Reflexion war bei diesen Platten und bei dieser Versuchsanordnung zu gering, um beobachtet werden zu können, nur so weit zeigte sie sich, als sie sich gerade bei den rauhsten Platten der geometrischen Reflexion überlagerte, wodurch die Kurven für diese Platten statt in gerader Linie in konvexer Krümmung abnahmen. Die geometrische Reflexion nimmt, wie ebenfalls aus den Kurven ersichtlich, an den einzelnen Flächen mit größer werdender Wellenlänge und größer werdendem Winkel zu. Als aber dann zu 24 μ langen Wellen übergegangen wurde, da zeigte es sich, daß die rauhste von diesen Platten sich schon vollkommen wie ein glatter Spiegel verhielt, und selbst bei Verwendung sehr groben Schmirgelpapiers konnte das Reflexionsvermögen für lange Wellen nicht mehr verändert werden. In langwelligerem und kurzwelligerem ultraroten Spektralgebiet konnten also nicht dieselben Platten verwendet werden.

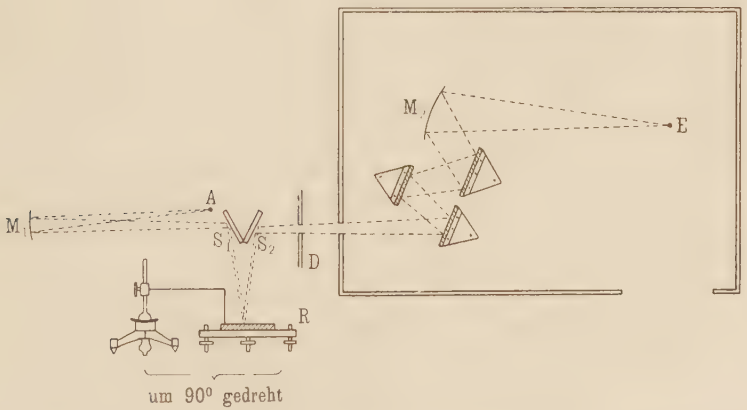
Für die Reflexionsmessungen im langwelligeren Spektralgebiet wurden Nickelplatten mit dem Sandstrahlgebläse mit verschiedenen Sandsorten von der Firma Hauptner „geblasen“. Um zu verhindern, daß sich die Nickelplatten beim „Blasen“ wie Konvex- bzw. Konkavspiegel krümmten, mußten die Platten, die mir die Firma „Anodenfabrik Reinickendorf“ lieferte, eine Dicke von mindestens 0,7 cm haben. Erst bei dieser Dicke erhielt ich drei Platten eben und gleichmäßig rauh. Die Rauheit der verwendeten drei Nickelplatten war so bemessen, daß die Unterschiede der Rauheit für die Wellenlänge 24 μ besonders stark hervortraten. Die Größe der Platten war 13 $\times$ 7 cm. Dieses Verfahren, die Platte zu „blasen“, ergab viel regelmäßigere Resultate, als die Anwendung von Schmirgelpapier, was auch aus den Photographien (S. 18) ersichtlich ist. Beim Gebrauch des Schmirgelpapiers hatte man eigentlich eine glatte Fläche, auf welcher sich in geringen oder größeren Abständen einzelne Kratzer von verschiedener Tiefe befanden. Die „geblasenen“ Platten hingegen besaßen rauhe Erhebungen, die nahezu, wenn auch nicht vollkommen, gleichmäßig über die Platte verteilt waren.

An diesen „geblasenen“ Platten wurden die folgenden Messungen mit den 8,85 μ, 24 μ, 52 μ, 110 μ, 313 μ langen Wellen gemacht. Zur Aussonderung der Strahlen im Gebiet 8,85 μ bis 52 μ wurde die Methode der „Reststrahlen“, für die größeren Wellenlängen die Quarzlinsenmethode angewandt.

Versuchsanordnung für Reststrahlen.

Als Strahlungsquelle wurde ein Auerbrenner benutzt. Vom Auerbrenner A fielen die Strahlen auf einen Hohlspiegel M_1, wurden durch einen schräg gestellten Planspiegel S_1 abwärts gerichtet und auf den zu untersuchenden Platten zum Bilde des Auerbrenners vereinigt. Die Platten waren stets hinreichend groß,

Fig. 3.



um das volle Bild des Auerstrumpfes aufzunehmen. Die von der Oberfläche reflektierten Strahlen gelangten aufwärts und wurden dann wiederum durch einen schräg gestellten Planspiegel S_2 in die ursprüngliche Horizontalebene gebracht und nach dem Durchgang durch die Reststrahlenanordnung durch einen zweiten Hohlspiegel M_2 auf dem Thermoelement E vereinigt. Das Mikroradiometer, der letzte Hohlspiegel und die Reststrahlenanordnung wurden zum Schutz gegen fremde Strahlung vollständig in einen Pappkasten eingeschlossen und nur ein kleines Diaphragma freigelassen, durch welches die Strahlen auf die Reststrahlenanordnung gelangen konnten. Vor dem Pappkasten befand sich der Klapp-

schirm *D*. Je nach der Stellung des ersten Planspiegels fiel der Strahl auf die horizontal liegende Platte unter verschiedenen Winkeln auf, und bei jeder Wellenlänge wurde die Justierung derartig variiert, daß der Strahl auf die Platte unter einem Winkel von 5°, 30° und 60° fiel. Die Winkelabmessung wurde in der Weise vollzogen, daß der Strahl, bevor er auf den ersten Hohlspiegel fiel, bis auf einen ganz schmalen Streifen abgeblendet wurde. Dann konnte man im Dunkeln auf einem weißen Karton, der senkrecht zur Platte in dem Strahlengang gehalten wurde, den Einfallswinkel ablesen. Die horizontal liegende Platte, deren Reflexionsvermögen ebenso wie bei den früheren Versuchen mit demjenigen eines Silberspiegels verglichen wurde, befand sich auf einem Dreifuß *R* und konnte mit Hilfe einer empfindlichen Libelle und eines Höhentasters genau horizontal gestellt und in dieselbe Höhenlage gebracht werden, wie der Vergleichssilberspiegel, der seinerseits auf einem besonderen Dreifuß angekittet wurde. Die Versuche wurden in der Weise ausgeführt, daß vor und nach jeder Beobachtung des Reflexionsvermögens einer Platte das Reflexionsvermögen des Vergleichsspiegels festgestellt wurde, wodurch die Konstanz der Empfindlichkeit des Mikroradiometers kontrolliert werden konnte. Zur Herstellung der Reststrahlen von 8,85 μ [1]) mittlerer Wellenlänge wurden drei Quarzplatten verwendet, von 24 μ [2]) mittlerer Wellenlänge drei Flußspatplatten benutzt und von 52 μ [3]) mittlerer Wellenlänge vier Steinsalzplatten in Anwendung gebracht. Das Mikroradiometerfenster wurde bei den Versuchen mit Quarz und Flußspat durch eine 3 mm dicke Sylvinplatte verschlossen, da die ziemlich dicke Steinsalzplatte, die bei der Untersuchung in kurzwelligerem Strahlengebiet angewendet worden war, für die Flußspatreststrahlen zu wenig durchlässig ist, während Sylvin [4]) bei einer Dicke von 3,6 mm noch 34 Proz. der Flußspatreststrahlen hindurchläßt. Dieses Sylvinfenster vor dem Mikroradiometer diente bei den Reststrahlen von Flußspat zugleich dazu, die durch die drei Flußspatplatten erzeugten Flußspatreststrahlen, die ohne Sylvinplatte im Strahlengang eine mittlere Wellenlänge von 25,5 μ haben, homogener zu machen; hierdurch verringerte sich die Wellenlänge auf etwa 24 μ.

[1]) Rubens und Nichols, Ann. d. Phys. **60**, 432, 1897.
[2]) Rubens und Nichols, ebenda **60**, 437, 1897.
[3]) Rubens und Aschkinass, ebenda **65**, 247, 1898.
[4]) Rubens und Nichols, ebenda **60**, 443, 1897.

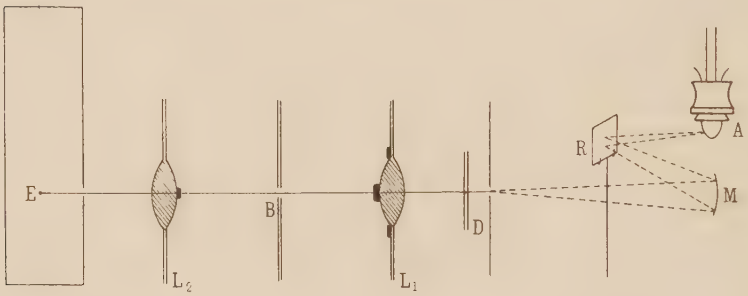
Bei Steinsalzreststrahlen diente als Verschluß des Radiomikrometers ein Quarzfenster von etwa 0,8 mm Dicke. Bei einer Dicke von 0,8 mm läßt Quarz [1]) noch 61 Proz. der Reststrahlen hindurch. Statt des gewöhnlichen Metallschirmes D wurde für die Quarz- und Flußspatreststrahlen ein solcher aus einer 1 mm dicken Glasplatte verwendet. Diese absorbierte die Reststrahlen vollkommen, wirkte also für diese wie ein Metallschirm, während die kurzwelligere Strahlung, von der hauptsächlich die diffuse Verunreinigung herrührt, zum Teil hindurchgelassen wurde, also dauernd auf das Thermoelement wirkte und nur eine anfängliche Nullpunktsverschiebung hervorrief. Bei den Steinsalzreststrahlen war der Klappschirm eine Steinsalzplatte. — Bei den Quarzreststrahlen wurde noch in den Strahlengang ständig eine 3 mm dicke Flußspatplatte gestellt, um die langwelligen Reststrahlen von 12,5 μ und 20,75 μ Wellenlänge auszuschließen. Da von den Quarzreststrahlen durch Quarz, von den Flußspatreststrahlen durch Flußspat, von den Steinsalzreststrahlen durch Steinsalz weniger als 1 Proz. der Strahlung hindurchging, so waren die Strahlen als genügend rein anzusehen. Bei den Reflexionsmessungen wurden die Platten auch auf ihrer Unterlage in ihrer eigenen Ebene verschoben, so daß das Bild des Auerbrenners an verschiedene Stellen der Platten kam. Hierbei ergaben sich natürlich infolge der Unregelmäßigkeiten der Platten merkliche Abweichungen, doch stimmten die Werte durchschnittlich auf 2 Proz. überein. Um die Genauigkeit der Messungen festzustellen, wurden die Versuche noch einmal bei vollkommen neuer Justierung der Versuchsanordnung wiederholt, wobei die Stellung sämtlicher Apparate mit Ausnahme des Mikroradiometers geändert wurde. Auch hierbei zeigte sich keine größere Abweichung von der vorherigen Versuchsreihe als 4 Proz. im Maximum. Diese Wiederholung der Reflexionsmessungen wurde mit den 24 μ langen Wellen erst etwa drei Wochen nach den ersten Messungen vorgenommen; da auch hier keine größeren Abweichungen als 4 Proz. auftraten, so wurde daraus geschlossen, daß die Platten, die zum Schutz gegen Staub unter einer Glocke aufbewahrt wurden, sich an ihrer Oberfläche nicht geändert hatten.

[1]) Rubens und Aschkinass, Ann. d. Phys. 65, 249, 1898.

Versuchsanordnung bei der „Quarzlinsenmethode“.

Schließlich wurden die Versuche auch mit langen Wellen von etwa 110 μ [1]) und 313 μ [2]) angestellt, welche nach der „Quarzlinsenmethode“ aus der Gesamtstrahlung einer Lichtquelle isoliert werden können. Als Strahlungsquelle für die ersteren wurde ein Invertbrenner A, für die letzteren eine Quarzquecksilberlampe benutzt. Die Strahlen der Quarzquecksilberlampe wurden durch schwarze Pappe von 0,4 mm Dicke durchfiltriert, so daß die vom Quecksilberdampf ausgehenden sehr inhomogenen Strahlen eine mittlere Wellenlänge von etwa 313 μ besaßen. Die Aussonderung

Fig. 4.



der Strahlen beruht auf der „Anwendung von Quarzlinsen, welche infolge der außerordentlichen Verschiedenheit der Brechungsexponenten für Wärmestrahlen diesseits und jenseits des Absorptionsstreifens in Quarz derartig justiert werden können, daß sie die ausgesendete langwellige Strahlung auf ein gegebenes Diaphragma konzentrieren, während die gewöhnlichen Wärmestrahlen zerstreut und abgeblendet werden“. Die Platten, deren Reflexionsvermögen gemessen werden sollte, wurden gegen eine vertikale Holzplatte R gelegt. Die Strahlen kamen vom Invertbrenner bzw. von der Quarzquecksilberlampe, fielen auf die vertikal stehenden Platten und wurden dann durch einen Hohlspiegel M auf das Diaphragma vor den Aussonderungslinsen geworfen. Der übrige Strahlengang ergibt sich aus der Figur. Auch bei den 110 μ langen Wellen wurden

[1]) Rubens und Wood, Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. **52**, 1910.
[2]) Rubens und v. Bayer, ebenda **14**, 1911.

die Versuche durch Verstellung der Holzplatte für drei Incidenzwinkel bei 0°, 30°, 60° gemacht. Aus den Resultaten aber ist ersichtlich, daß bei dieser Wellenlänge die Änderung des Reflexionsvermögens bereits so gering geworden ist, daß sie sich der Betrachtung entzieht. Die Versuche mit 313 μ langen Wellen wurden daher nur noch unter einem einzigen Incidenzwinkel gemacht. Die Resultate der Messungen mit „geblasenen" Platten finden sich in der nachstehenden Tabelle zusammengestellt.

Messungen.

Tabelle I.

Incidenzwinkel	$\lambda = 313\,\mu$			$\lambda = 110\,\mu$			$\lambda = 52\,\mu$			$\lambda = 24\,\mu$			$\lambda = 8{,}85\,\mu$		
	Platte			Platte			Platte			Platte			Platte		
	Nr. 1	2	3	Nr. 1	2	3	Nr. 1	2	3	Nr. 1	2	3	Nr. 1	2	3
	Prozent			Prozent			Prozent			Prozent			Prozent		
5°	97	97	97	95	95	94	83	75	64	50	30	16	8	2	1
30°	—	—	—	95	95	94	85	75	66	53	33	21	12	4	2
60°	—	—	—	95	95	94	85	77	74	54	40	33	20	10	4

Es geht aus der Tabelle hervor, daß die Platten bei 8,85 μ und 5° Incidenzwinkel fast vollkommen rauh sind, diese Eigenschaft aber mit größerer Wellenlänge und größerem Einfallswinkel in einem solchen Maße verlieren, daß sie bei 110 μ fast streng geometrisch reflektieren. Interessant ist ferner die Tatsache, daß der Einfluß des Incidenzwinkels auf das Reflexionsvermögen mit wachsender Wellenlänge immer geringer wird und bereits bei den Reststrahlen von Steinsalz kaum noch zu erkennen ist, obwohl hier das Reflexionsvermögen noch lange nicht den maximalen Betrag erreicht hat.

Quantitative Messungen über die Größe der Unebenheiten zu machen, erwies sich leider als unmöglich. Wie mikroskopische Messungen ergaben, sind die Rauheiten einerseits sehr verschiedener Art, andererseits handelt es sich nicht um scharf begrenzte Vertiefungen. Wie bereits oben bemerkt wurde, gibt die Korngröße des verwendeten Sandes kein Maß, höchstens einen qualitativen Anhaltspunkt für die Rauheit der Platten: die Sandgröße, mit der die drei Platten geblasen wurden, war etwa 25 μ, 250 μ, 375 μ. Die unregelmäßige Form von Erhebungen und Vertiefungen

in der Plattenoberfläche ist besonders deutlich aus den drei Photographien (Fig. 5a, b, c) ersichtlich, welche bei senkrechter Incidenz des Lichtes und 560facher Vergrößerung mikrophotographisch von

Fig. 5a.

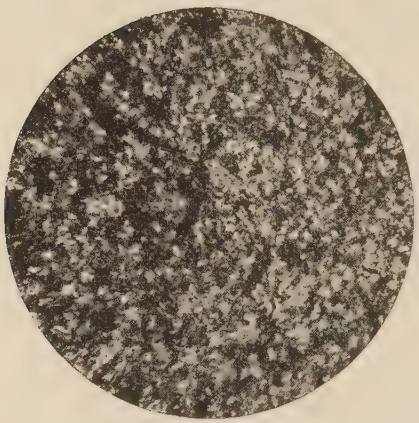


Fig. 5b.

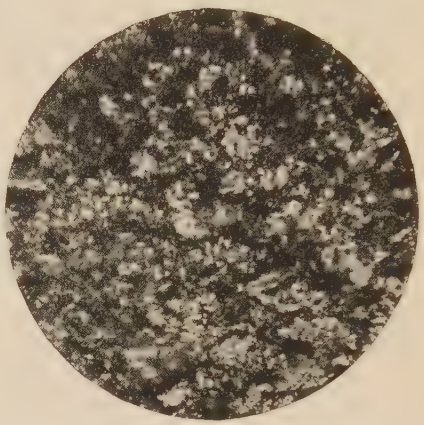
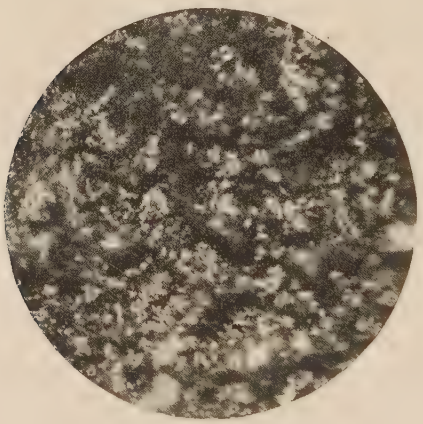


Fig. 5c.



Herrn Prof. Scheffer aufgenommen wurden. Es sei mir gestattet, an dieser Stelle Herrn Prof. Scheffer für seine Liebenswürdigkeit meinen besten Dank auszusprechen.

II. Versuche mit Gittern.

a) Gerillte Platten.

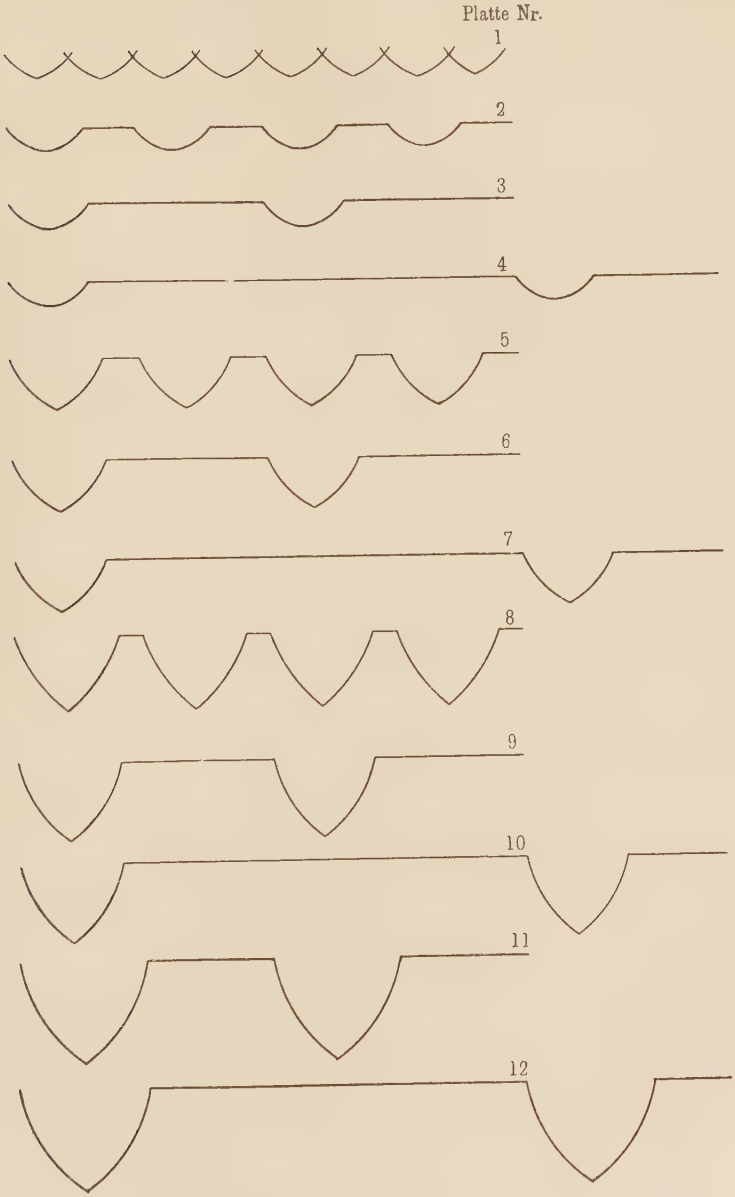
Nahe verwandt mit den Erscheinungen der diffusen Reflexion ist die Reflexion des Lichtes an Oberflächen, welche mit äquidistanten Furchen oder Erhebungen versehen sind. Hier ist die Möglichkeit gegeben, in bezug auf die Dimensionen dieser Gebilde quantitative Angaben zu machen. Es wurde zunächst mit Ritzgittern gearbeitet, welche mit der Teilmaschine hergestellt werden konnten. Je nach der Zahl der Furchen pro Millimeter und je nach der Tiefe erhielt ich verschiedene Resultate. Anfangs verwendete ich als Material für die Platten Messing. Beim Variieren des Druckes auf den Stichel zeigte es sich aber, daß diese Platten stärkeren Drucken zu großen Widerstand leisteten. Als weicheres Material wählte ich Zink. Die Furchen, die der Stichel einer Teilmaschine einkratzt, greifen nur dann regelmäßig ein, wenn die Platten nicht nur plan sind, was ja ohnehin wegen des Messens des Reflexionsvermögens nötig ist, sondern auch planparallel. Diese planparallelen Zinkplatten hatten die Größe 4×4 cm und waren 0,4 cm dick. Die anfangs bei geringem Druck des Stichels hergestellten Platten waren verhältnismäßig recht gut geteilt, aber die Tiefe, die ich ebensogroß wie den Strichabstand zu machen versuchte, war viel zu gering. Nun kann man natürlich durch Aufsetzen von Gewichten auf den Stichel den Druck immer mehr verstärken. Es handelt sich aber um die Frage, in welcher Abhängigkeit eine äußere Druckänderung und hierdurch hervorgerufene Tiefenänderung stehen. Diese Frage läßt sich nur durch folgende Eichung beantworten: ich fertigte bei verschiedenen ganz bestimmten Drucken Ritzgitter auf Zinkplatten an, machte Abdrücke, schnitt dieselben mit dem Mikrotom und stellte die Tiefe unter dem Mikroskop fest. Auf diese Abdrücke, das Mikrotom und das Mikroskop komme ich später noch zu sprechen. Als Resultate der Eichung ergab sich folgendes: Für eine bestimmte Strichzahl konnte nie über eine bestimmte Tiefe hinausgegangen werden, weil bei noch stärkerer Belastung die einzelnen Striche sich gegenseitig zerstörten. Diese Tiefe erreichte aber nie den Strichabstand; ich mußte also darauf verzichten, Platten herzustellen, bei denen der Abstand der Ritze gleich der Tiefe war. Um aber ein größeres Zahlenmaterial zu erhalten, fertigte ich mehrere Serien von Ritz-

gittern an, welche bei gleichen Strichabständen verschiedene Strichtiefe besaßen, und diese Tiefen waren etwa 20 μ, 40 μ, 60 μ, 80 μ. Die Dichte der Striche wurde so gewählt, daß die Zahl der Striche pro Millimeter im Maximum 20 betrug, in welchem Falle die Platten angenähert regelmäßig reflektierten. Bei diesem Strichabstand von 50 μ konnte nur eine Tiefe von 20 μ erreicht werden, denn bei 40 μ Tiefe trat ein Überdecken der Striche, wie oben beschrieben, ein. Bei 100 μ Strichabstand wurden Platten mit 20 μ, 40 μ, 60 μ Tiefe, bei 200 μ und 400 μ Strichabstand Platten mit 20 μ, 40 μ, 60 μ, 80 μ Tiefe angefertigt. Außer Strichzahl und Tiefe trägt noch ein dritter Faktor zur Charakterisierung der Platten bei: die Breite der Ritzen. Diese hängt von der Form des Stichels ab, vergrößerte sich natürlich bei tieferen Ritzen, und zwar bei den verschiedenen Tiefen um ungefähr 10 μ. Bei der geringsten Tiefe hatte die Ritze eine ungefähre Breite von 60 μ.

Es wurde schon oben angedeutet, daß die Profile durch Abformung gemessen wurden. Auf die Platten wurde ein Einbettungsrahmen gesetzt, und in diese Form Paraffin von möglichst hohem Schmelzpunkt gegossen. Damit der Paraffinabdruck sich dann gut löste, wurden die Platten durch Verdunsten flüssiger Kohlensäure künstlich gekühlt. Das Profil eines solchen Abgusses konnte nun noch nicht unter dem Mikroskop gemessen werden; es mußte das Profil zunächst vollkommen eben geschnitten werden. Dies geschah mit einem Mikrotom, das die Firma Leitz die Liebenswürdigkeit hatte, mir während der Zeit der Anfertigung der Platten zur Verfügung zu stellen; die folgende Tabelle und Fig. 6 enthalten die charakterisierenden Größen und die Profile der Platten.

	Strichabstand 50 μ Platte	Strichabstand 100 μ Platte	Strichabstand 200 μ Platte	Strichabstand 400 μ Platte
Tiefe etwa 20 μ, Strichbreite etwa 60 μ	I	II	III	IV
Tiefe etwa 40 μ, Strichbreite etwa 70 μ		V	VI	VII
Tiefe etwa 60 μ, Strichbreite etwa 80 μ		VIII	IX	X
Tiefe etwa 80 μ, Strichbreite etwa 90 μ			XI	XII

Fig. 6. Profile der „geteilten“ Platten.



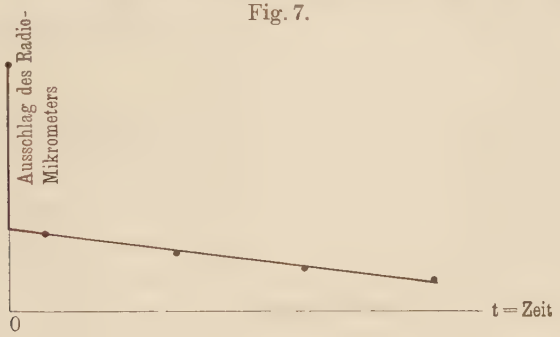
Letztere sind den Paraffinabdrücken schematisch nachgezeichnet, indem aus den Tiefen der Paraffinabdrücke ein Mittelwert gewählt wurde. Die etwa 5 Proz. Abweichungen der Abdrücke von der schematischen Zeichnung selbst sind nicht nur auf Unregelmäßigkeiten der hergestellten Gitter zurückzuführen, sondern beruhen auch auf dem nicht gleichmäßigen Eindringen des Paraffins in die Ritzen und in der Veränderung, die das Paraffin durch den Druck des Mikrotommessers erfährt.

Bei diesen Messungen wurde polarisierte Strahlung verwendet. Die Versuche wurden in der Weise angestellt, daß das Reflexionsvermögen an den Ritzgittern gemessen wurde, einmal, wenn der elektrische Strahlenvektor [1]) der Strichrichtung parallel war, das andere Mal, wenn er darauf senkrecht stand. Als Polarisator verwendete ich bei den Reststrahlversuchen eine Quarzplatte, welche in den Strahlengang unter dem Polarisationswinkel eingeschaltet war. Bei den etwa 110 μ und etwa 313 μ langen Wellen benutzte ich wegen der bequemeren Handhabung ein Drahtgitter mit zwanzig 0,025 mm starken Platindrähten pro Millimeter, welches nahezu vollständig [2]) polarisiert. Dieses Gitter wurde auf dem Diaphragma B (s. S. 16) befestigt. Im übrigen wurden die oben beschriebenen und für die Versuche mit den rauh „geblasenen“ Platten bestimmten Anordnungen beibehalten. Sie wurden nur insofern vereinfacht, als das Reflexionsvermögen nicht mehr bei veränderlichen Incidenzwinkeln gemessen wurde: bei der Reststrahlenanordnung (s. S. 13) fielen also Spiegel S_1, Dreifuß R, Spiegel S_2, bei der Quarzlinsenmethode (s. S. 16) die verstellbare Holzplatte R fort; die Strahlen gelangten vielmehr von der Strahlungsquelle auf die unter ihnen auf einer Glasplatte liegenden Zinkplatten unter einem Incidenzwinkel von etwa 20°, wurden von hier nach oben auf einen vorderseitig versilberten Planspiegel geworfen, der so orientiert war, daß die Strahlen von nun an in einer bestimmten Horizontalebene verblieben. Nachdem die Strahlen so in die Horizontalrichtung gelenkt waren, fielen sie auf einen Hohlspiegel (auf S. 13: M_1, auf S. 16: M) und hatten nun den oben beschriebenen Verlauf. Damit die Reflexionsmessungen nicht durch die von den Zinkplatten ungedeckte Glasplatte beeinflußt wurden, wurde die ganze freibleibende Fläche mit einer dicken Pappe be-

[1]) Bzw. seine Projektion auf die reflektierende Fläche.
[2]) Du Bois und Rubens, Wied. Ann. **35**, 254, 1911.

deckt. Die Reflexionsmessungen mit den etwa 313 μ langen Wellen wurden in etwas anderer Weise als oben vorgenommen. Um die von einer Quarzquecksilberlampe ausgehenden langwelligen Strahlen von kurzwelligerer Strahlung zu reinigen, hat man das Mittel, die Strahlung durch schwarze Pappe hindurchgehen zu lassen. Die nun ohnedies sehr geringe Energie würde aber bei der beschriebenen Anordnung durch das Einschalten eines Drahtgitters mindestens auf die Hälfte geschwächt und hätte zur Anstellung von Messungen nicht mehr ausgereicht. Deswegen wurden die Messungen ohne Einschalten der Pappe gemacht, und Verunreinigung durch kurzwelligere Strahlung, die von den glühenden Quarzwänden herrührt, auf folgende Weise eliminiert: die Energie, die von den Quarzwänden ausgeht, wurde dadurch bestimmt, daß man die Queck-

Fig. 7.



silberlampe plötzlich auslöschte und nun in gleichen Zeitabständen vier Ausschläge, die durch den sich langsam abkühlenden Quarz allein verursacht wurden, beobachtete. Durch Interpolation wurde auf die Größe desjenigen Ausschlages geschlossen, welcher der Energie der Quarzstrahlung unmittelbar nach dem Auslöschen der Lampe entspricht, und welcher ein Maß für den Anteil der verunreinigenden Strahlung liefert. Die vorstehende Figur zeigt eine in dieser Weise aufgenommene Kurve, in welcher die Zeit 0 den Moment des Auslöschens angibt.

Aus der Figur ergibt sich, daß das Verhältnis der langwelligen Strahlung des Quecksilberdampfes zu derjenigen der Quarzwände sich in diesem Falle angenähert wie 2 : 1 verhält. Durch folgende Formeln nun läßt sich die unreine Strahlung auf reine Strahlung von 313 μ reduzieren:

$$A = a + b, \quad \ldots \ldots \ldots \quad 1)$$

in welcher Gleichung A die von der Quarzquecksilberlampe ausgehende Strahlung, a der Anteil ist, welcher vom Quecksilberdampf herrührt, b den Anteil bedeutet, welcher durch die Strahlung der Quarzwände verursacht wird.

$$B = \varrho_1 a + \varrho_2 b, \quad \ldots \ldots \ldots \quad 2)$$

in welcher Gleichung B die reflektierte Strahlungsintensität bedeutet, ϱ_1 das zu bestimmende noch unbekannte Reflexionsvermögen des langwelligen Anteils und ϱ_2 das der verunreinigenden Strahlung der Quarzwände ist; diese läßt sich durch folgende Überlegung berechnen. Aus Versuchen der Herren Rubens und v. Bayer[1]) ergibt sich, daß die von glühendem Quarzglas ausgesandte, mit Hilfe der Quarzlinsenmethode isolierte langwellige Strahlung nahezu dieselbe mittlere Wellenlänge besitzt, wie die vom Auerbrenner emittierte. Setzt man also für ϱ_2 die oben für das Reflexionsvermögen der Platten bei $110\,\mu$ erhaltenen Werte ein, so erhält man, da außerdem das Verhältnis $\frac{a}{b}$ bekannt ist, das gesuchte Reflexionsvermögen ϱ_1 der Platten für die etwa $313\,\mu$ langen Wellen.

Die Resultate der Messungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Tabelle 2.

Platte Nr.	Strich		Reflexionsvermögen ϱ_1					
			Elektrischer Vektor ⊥ der Strichrichtung			Elektrischer Vektor ∥ der Strichrichtung		
	Tiefe	Abstand	$\lambda =$ 52 μ	$\lambda =$ 110 μ	$\lambda =$ 313 μ	$\lambda =$ 52 μ	$\lambda =$ 110 μ	$\lambda =$ 313 μ
	μ	μ	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.
1	etwa 20	50	**84**	96	96	**84**	96	97
2		100	(*15*)	79	94,5	(*18,5*)	88	98
3		200	(*44*)	63	87	(*44*)	88	98
4		400	67	84	95	74	95	99,5
5	etwa 40	100	**41**	**80**	85	**56**	**83**	95
6		200	**54**	50	80	**54**	78	96,5
7		400	72	65	84,5	72	86	95,5
8	etwa 60	100	12,5	76	85	31	76	89,5
9		200	33	47	61,5	50	54	93
10		400	63	54	67,5	73	71	90,5
11	etwa 80	200	31	**45**	57,5	50	**52**	80,5
12		400	61	**51**	46,5	71	**58**	84

[1]) Rubens und v. Bayer, Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. **14**, 1911 und **30**, 1911.

Es geht aus den Versuchen hervor, daß die an gerillten Platten reflektierten Strahlen, wenn auch teils nur in geringem Maße, Polarisation aufweisen, ähnlich wie die Herren du Bois und Rubens[1]) Polarisation bei dem Durchgang durch Metalldrahtgitter nachgewiesen haben.

Beide Autoren haben in ihren die Gitter-Polarisation betreffenden Arbeiten auch eine Reihe von Bemerkungen[2]) über die eventuell eintretende Beugung gemacht, die sich in gleicher Weise auch auf die hier untersuchten gerillten Gitter bezieht.

Bezüglich des Reflexionsvermögens geht aus der Tabelle folgendes hervor:

1. Faßt man das Reflexionsvermögen eines bestimmten Ritzgitters bei verschiedenen Wellenlängen (also die Horizontalreihen) ins Auge, so ergibt sich aus der Tabelle, ebenso wie auch früher bei den geschmirgelten und mit Sandstrahlgebläse rauh gemachten Platten, im allgemeinen ein Ansteigen des Reflexionsvermögens mit größer werdender Wellenlänge; diejenigen Werte, bei denen das nicht der Fall ist, erklären sich dadurch, daß bei Platten mit größerem Strichabstand zwischen den Furchen ebene Stellen stehen bleiben, welche wegen ihrer geringen Breite die kurzwelligen Strahlen besser reflektieren als die langwelligen. So erklärt es sich, daß das Reflexionsvermögen für eine größere Wellenlänge mitunter kleiner ist als für eine kürzere:

bei	den	Platten	6	. . . . .	54	Proz.	bei	52 μ,	50	Proz.	bei	110 μ
„	„	„	7	. . . . .	72	„	„	52 μ,	65	„	„	110 μ
„	„	„	10	. . . . .	63	„	„	52 μ,	54	„	„	110 μ
„	„	„	12	. . . . .	61	„	„	52 μ,	51	„	„	110 μ

ferner in der Richtung, in welcher der elektrische Vektor parallel der Strichrichtung steht:

bei	den	Platten	10	. . . . .	73	Proz.	bei	52 μ,	71	Proz.	bei	110 μ
„	„	„	12	. . . . .	71	„	„	52 μ,	58	„	„	110 μ

2. Die angegebene Erklärung für dieses Verhalten der Platten findet auch ihre Bestätigung darin, daß bei konstanter Wellenlänge und konstanter Strichtiefe das Reflexionsvermögen mit dem Strich-

---

[1]) Du Bois und Rubens, Ann. d. Phys. **49**, 593—632, 1893 und Wied. Ann. **35**, 243—276, 1911.

[2]) Du Bois und Rubens, Ann. d. Phys. **49**, 622—627, 1893 und Wied. Ann. **35**, 275—276, 1911.

abstand wächst, sobald dieser eine bestimmte Größe, etwa das Doppelte der Wellenlänge, erreicht hat.

3. Betrachtet man bei konstanter Wellenlänge Platten mit gleicher Strichzahl und verschiedener Tiefe, so ergibt sich aus der Tabelle, daß bei immer größer werdender Tiefe das Reflexionsvermögen konstant ist oder geringer wird. Nur die in der Tabelle eingeklammerten Werte, also die an den Platten 2 und 3 gemessenen Reflexionswerte bei der Wellenlänge 52 μ, ergeben eine Abweichung. Es handelt sich hier wohl um einen ähnlichen Fall wie bei dem von den Herren Rubens und du Bois untersuchten Goldgitter, bei welchem ebenfalls bei 52 μ eine Abweichung festgestellt wurde; vermutlich hat man es hier mit der Wirkung elektrischer Resonanzen zu tun.

4. Die bisherigen Ergebnisse waren mehr qualitativer Natur. Quantitativ ergibt sich aus der Tabelle, daß die folgenden Werte des Reflexionsvermögens angenähert übereinstimmen:

1. bei Platte 1 für 52 μ und Platte 5 für 110 μ: 84 bzw. 80, 84 bzw. 83 Proz.
2. „ „ 5 „ 52 μ „ „ 11 „ 110 μ: 41 „ 45, 56 „ 52 „
3. „ „ 6 „ 52 μ „ „ 12 „ 110 μ: 54 „ 51, 54 „ 58 „

Zieht man in Betracht, daß die unvermeidlichen Ungenauigkeiten bei den Ablesungen, den Wellenlängenmessungen und den Bestimmungen der Tiefe der Ritze als Fehlerquellen in Rechnung zu setzen sind, so kann man in allen drei Fällen die Werte 84 bzw. 80 Proz., 84 bzw. 83 Proz., 41 bzw. 45 Proz., 56 bzw. 52 Proz. und 54 bzw. 51 Proz., 54 bzw. 58 Proz. als gleich, innerhalb der Fehlergrenzen, ansehen. In jedem der drei Fälle verhalten sich die Wellenlängen etwa wie 1 : 2, ebenso verhalten sich die Abstände und Tiefen der Platten 1 und 5, 5 und 11, 6 und 12 wie 1 : 2.

Es geht also aus den Messungen hervor, daß das an zwei verschieden gerillten Platten und bei zwei verschiedenen Wellenlängen gemessene Reflexionsvermögen dann gleich ist, wenn das Verhältnis der Wellenlänge zu den geometrischen Dimensionen der Gitterprofile ungeändert bleibt. Dies zeigt, daß das Material der Gitter in dem hier in Betracht kommenden Wellenlängenbereich keine erheblichen selektiven Eigenschaften mehr besitzt, ein Schluß, zu welchem man auch durch andere Untersuchungen bereits geführt worden ist.

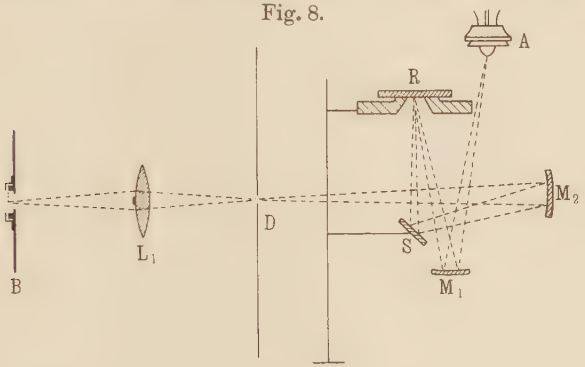
b) Versuche mit Metalldrahtgittern.

Viel größere Regelmäßigkeit der Struktur, als es mit gerillten Platten möglich ist, erreicht man bei Metalldrahtgittern. Es wurden deshalb auch einige Versuche mit solchen Drahtgittern für die durch Quarzlinsen ausgesonderte langwellige Strahlung des Auerbrenners angestellt.

Versuchsanordnung.

Die Strahlen gelangten vom Invertbrenner A auf einen unter ihn liegenden Hohlspiegel M_1, wurden von diesem nach oben geworfen und bei R zu einem Bilde vereint. Hier befand sich eine kreisrunde Hartgummiplatte, die in der Mitte konusförmig

Fig. 8.



durchbohrt war. Auf diese Öffnung wurden abwechselnd ein vorderseitig versilberter Spiegel mit der versilberten Seite nach unten und eines der zu untersuchenden Drahtgitter aufgelegt. Von R gelangten die Strahlen abwärts auf den Planspiegel S, von dort nach dem Hohlspiegel M_2 und wurden durch diesen auf dem Diaphragma D vor der Quarzlinsenanordnung zu einem Bilde vereint.

Messungen.

Es wurden dieselben Drahtgitter verwendet, die auch die Herren du Bois und Rubens in ihren Arbeiten, betitelt: „Polarisation ungebeugter ultraroter Strahlung durch Metalldrahtgitter“ [1]) und „Polarisation ungebeugter langwelliger Wärmestrahlen durch Drahtgitter“ [2]) verwendet und mit den Buchstaben bezeichnet

[1]) Ann. d. Phys. **49**, 593—632, 1893.
[2]) Ebenda **35**, 243—276, 1911.

haben: Pt 1, Cu 1, Au 1, Ag 1, Pt 2, Cu 2. Außerdem wurden noch ein Silbergitter mit der Gitterkonstante 0,3716 mm und Öffnungsbreite 0,1858 mm [1]) und ein erst kürzlich im hiesigen Institut verfertigtes Gitter aus Kupfer Cu 3 untersucht, dessen Gitterkonstante 0,15 mm und dessen Öffnungsbreite 0,1 mm war. Der Einfallswinkel betrug 6° und 45° [2]). Das Reflexionsvermögen der Drahtgitter wurde wiederum für senkrecht und parallel zur Strichrichtung polarisierte Strahlung gemessen. Es wurde zu diesem Zweck wie früher auf dem Diaphragma B ein Polarisationsgitter drehbar befestigt [3]); nun wurden zunächst die Ausschläge verglichen, die sich bei vertikaler Stellung des Polarisators ergaben, wenn sich auf R abwechselnd ein Vergleichssilberspiegel oder eines der zu untersuchenden Gitter in solcher Lage befand, daß einem von L_1 blickenden Beobachter die Drähte des Gitters in dem Hohlspiegel M_2 horizontal erschienen. Dann wurde das Polarisationsgitter um 90° gedreht und die entsprechende Messung wiederholt. Zur Kontrolle der Versuche wurden Messungen dann in der Weise vorgenommen, daß das Polarisationsgitter in einer bestimmten Stellung unverändert blieb und die Drahtrichtung der zu untersuchenden Gitter in R um 90° gedreht wurde. Als Polarisator diente wieder das Drahtgitter mit zwanzig 0,025 mm starken Platindrähten pro Millimeter, das auch die Herren du Bois und Rubens verwendet und mit Pt 1a bezeichnet haben. Um zu prüfen, ob bei der von mir verwendeten Quarzlinsenanordnung [4]) das Gitter Pt 1a vollkommen polarisierte, wurden Versuche in der Weise angestellt, daß ein Pt 1a in seinen Dimensionen gleiches Platingitter Pt 1b — ein sogenannter Zwilling [5]) — zwischen Invertbrenner und Quarzlinsenanordnung gestellt und dann die Durchlässigkeit gemessen wurde, wenn die Drahtrichtungen der beiden Gitter senkrecht oder parallel zu einander standen. Da sich die beiden Durchlässigkeiten wie 1 : 100 verhielten, war die Polarisation, die Gitter Pt 1a bewirkte, als annähernd vollkommen

---

[1]) Die Drähte dieses Gitters waren mit Mattlack überzogen.

[2]) Die Figur entspricht der Anordnung für einen Incidenzwinkel von 6° — bei einem Incidenzwinkel von 45° wurde die Anordnung entsprechend geändert.

[3]) Du Bois und Rubens, Ann. d. Phys. **35**, 253, 1911.

[4]) Es fanden sich etwa 19 mm Quarz im Strahlengang.

[5]) Ann. d. Phys. **35**, 268, 1911.

anzusehen. Die vom Vergleichssilberspiegel reflektierte Strahlung war in meiner Anordnung nahezu vollständig unpolarisiert. Die Versuchsergebnisse sind in den folgenden Tabellen zusammengestellt. Es bedeutet, wie üblich:

R_p = Reflexionsvermögen (|| pol. Str.),
R_s = Reflexionsvermögen (⊥ pol. Str.).

Gleichzeitig sind in den Tabellen die von den Herren du Bois und Rubens gemessenen Werte für

Q_p = Durchlässigkeit (|| pol. Str.),
Q_s = Durchlässigkeit (⊥ pol. Str.)

aufgenommen. Die Öffnungsbreite aller Gitter mit Ausnahme von Cu 3 ist halb so groß als die Gitterkonstante. Die Öffnungsbreite von Cu 3 ist $^2/_3$ der Gitterkonstanten.

Tabelle 3. Neigungswinkel 6°.

Gitter	Pt 1	Cu 1	Au 1	Ag 1	Pt 2	Cu 2	Cu 3	Ag 2
Gitterkonstante	50 μ	50 μ	66,2 μ	91,2 μ	96 μ	105 μ	150 μ	371,6 μ
R_p	0,234	0,232	0,239	0,224	0,214	0,236	0,125	0,143
Q_p	0,748	0,731	0,766	0,722	—	0,587	—	—
$R_p + Q_p$	0,982	0,963	1,005	0,946	—	0,823	—	—
R_s	0,939	0,942	0,919	0,734	0,704	0,664	0,365	0,051
Q_s	0,022	0,038	0,075	0,241	—	0,263	—	—
$R_s + Q_s$	0,961	0,980	0,994	0,975	—	0,927	—	—

Tabelle 4. Neigungswinkel 45°.

Gitter	Pt 1	Cu 1	Au 1	Ag 1	Pt 2	Cu 2	Cu 3	Ag 2
Gitterkonstante	50 μ	50 μ	66,2 μ	91,2 μ	96 μ	105 μ	150 μ	371,6 μ
R_p	0,172	0,164	0,191	0,301 [1])	0,178	—	0,105	0,112
Q_p	0,740	0,732	0,555	0,439	—	0,389	—	—
$R_p + Q_p$	0,912	0,896	0,746	0,740	—	—	—	—
R_s	0,940	0,940	0,890	0,766 [1])	0,668	—	0,490	0,276
Q_s	0,003	0,004	0,011	0,022	—	0,035	—	—
$R_s + Q_s$	0,943	0,944	0,901	0,788	—	—	—	—

[1]) Den Beobachtungen der Herren Rubens und du Bois entnommen: Ann. d. Phys. **35**, 271, 1911.

Aus den Tabellen ist folgendes ersichtlich: Die Gitter Pt 1 und Cu 1, die dieselben Gitterkonstanten besitzen, haben gleiches Reflexionsvermögen; im übrigen sinkt die Größe des Reflexionsvermögens R_s den Gitterkonstanten entsprechend, während R_p für die ersten 6 Gitter praktisch konstant ist.

Von besonderem Interesse ist die Betrachtung der Summe $R_p + Q_p$ bzw. $R_s + Q_s$. Für die Gitter Pt 1, Cu 1, Au 1 ist die Gitterkonstante sicher kleiner als die Wellenlänge, denn die durchschnittliche Wellenlänge der durch Quarzlinsen ausgesonderten Strahlung beträgt $110\,\mu$, und auch die kürzeste der in der auffallenden Strahlung vorhandenen Wellenlänge ist wohl mindestens $70\,\mu$ [1]). Für die übrigen Gitter hingegen ist die Gitterkonstante jedenfalls größer als ein Teil der ausgesonderten Strahlung. Bei einem Incidenzwinkel von 6° nun ist $R_p + Q_p$ bzw. $R_s + Q_s$ bei der ersten Gruppe der Gitter, also bei Pt 1, Cu 1, Au 1, annähernd gleich 1, und es ist anzunehmen, daß die Summe vollkommen gleich 1 wäre, wenn die Gitter vollkommen ebene Oberfläche besäßen. Diese Annäherung ist beim Goldgitter am besten. Es findet also bei der ersten Gruppe der Gitter, also bei Pt 1, Cu 1, Au 1, weder Absorption noch diffuse Zerstreuung statt; die ganze Energie wird entweder von den Gittern durchgelassen oder geometrisch reflektiert. Bei der zweiten Gruppe der Gitter hingegen, für welche die Gitterkonstante größer ist als die Wellenlänge eines Teiles der Strahlung, sind aus diesem Grunde zwei Beugungsbilder erster Ordnung [2]) vorhanden. In diesem Falle muß $R_p + Q_p$ bzw. $R_s + Q_s$ kleiner als 1 sein, denn die Energie der Beugungsbilder muß von der Intensität der auffallenden Strahlung bestritten werden. Diese Beugungsbilder sind es auch, die das Reflexionsvermögen bei einem Neigungswinkel von 45° beeinflussen: bei dieser Incidenz können, auch wenn λ größer als die Gitterkonstante ist, Beugungsbilder auftreten, und zwar berechnet sich z. B. für eine unter 45° Incidenz auf ein Gitter mit der Gitterkonstanten $50\,\mu$ auffallende Strahlung die größte Wellenlänge, für welche Beugung möglich ist, zu $85\,\mu$. Dieses ist der Grund, weswegen einerseits das Reflexionsvermögen mit größer werdendem Incidenz-

---

[1]) Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. Isolierung langwelliger Wärmestrahlen durch Quarzlinsen von Rubens und Wood.

[2]) Ann. d. Phys. **49**, 627, 1893.

winkel teilweise kleiner als bei einer Incidenz von 5° ist, und andererseits die Summe $R_p + Q_p$ bzw. $R_s + Q_s$ bei den Gittern der ersten Gruppe kleiner als 1 ist. Tritt also keine Störung durch Beugungserscheinungen ein, dann wird von den Metalldrahtgittern die gesamte Strahlung teils geometrisch reflektiert, teils hindurchgelassen, und nichts diffus reflektiert oder absorbiert. Es sei daran erinnert, daß auch bei Hertzschen Gittern die Absorption und diffuse Zerstreuung eine sehr geringe ist [1]).

[1]) Rubens und Ritter, Wied. Ann. **40**, 71, 1890.

Vorliegende Arbeit ist im physikalischen Institut der Universität Berlin auf Anregung und unter Leitung von Herrn Geh. Regierungsrat Professor Dr. Rubens ausgeführt. Es sei mir gestattet, Herrn Geheimrat Rubens für das freundliche Interesse, das er meiner Arbeit entgegenbrachte, und für seine wertvollen Ratschläge meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.

Auch möchte ich nicht verfehlen, dem Herrn Privatdozenten Professor Dr. v. Bayer für vielfache Unterstützungen herzlichst zu danken.

Lebenslauf.

Ich, Theodor J. Meyer, wurde am 2. März 1888 in Berlin als Sohn des Fabrikbesitzers Dr. Paul J. Meyer und seiner Ehefrau Johanna, geb. Schiff, geboren. Ich bin mosaischer Religion. Nach zweijährigem Privatunterricht besuchte ich das Königl. Wilhelms-Gymnasium zu Berlin, welches ich Ostern 1907 mit dem Zeugnis der Reife verließ.

Zunächst widmete ich mich in Berlin, dann in Kiel und seit Michaelis 1908 wieder in Berlin dem Studium der Physik, Chemie und Mathematik. Seit Ostern 1910 arbeite ich am physikalischen Institut unter der Leitung von Herrn Geheimrat Rubens. Ich nahm teil an den Vorlesungen und Übungen der Herren:

in Kiel: Dieterici, Heffter, Pochhammer, Harries, Biltz, Rügheimer, Feist;

in Berlin: Rubens, Planck, Warburg, E. Fischer, Gabriel, Diels, Landau, Wehnelt, Blasius, Martens, Slaby, Regener, Gehrcke, v. Wartenberg, Riehl, Stumpf.

Die Promotionsprüfung bestand ich in Berlin am 3. Juli 1913.